



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2020 00327**

(22) Data de depozit: **11/06/2020**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/07/2022** BOPI nr. **7/2022**

(30) Prioritate:
12/06/2019 US 62/860,703

(41) Data publicării cererii:
30/12/2020 BOPI nr. **12/2020**

(73) Titular:
• **MILEA ADRIAN, BD.MIRCEA CEL
BĂTRÂN, NR.10, BL.H6, SC.I, AP.51,
TÂRGOVIȘTE, DB, RO**

(72) Inventatori:
• **MILEA ADRIAN, BD.MIRCEA CEL
BĂTRÂN, NR.10, BL.H6, SC.I, AP.51,
TÂRGOVIȘTE, DB, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 2016112023 A1; WO 2017/191097 A1;
WO 0137611 A1**

(54) **INCINTĂ ACUSTICĂ DE MARE PUTERE CU EXTENSIE
ÎN FRECVENȚE ULTRA - JOASE, PRIN INTERMEDIUL
PROCESĂRII DIGITALE A SEMNALULUI**



RO 134667 B1

1 Inventția se încadrează în domeniul electroacusticii, referindu-se, în principal, la
incintele acustice de tip bass-reflex, ale căror limitări clasice de proiectare, ce afectează
3 reproducerea frecvențelor foarte joase, sunt depășite printr-o nouă abordare, a cărei imple-
mentare presupune și procesarea digitală a semnalului, rezultatul final constând în
5 reproducerea unor frecvențe mult mai joase decât ar fi posibil în mod normal.

Prin incintă acustică de tip bass-reflex înțelegem acea incintă având o cameră de
7 rezonanță la joasă frecvență, caracterizată prin existența unuia sau mai multor porturi și
funcționând conform principiului rezonatorului Helmholtz. Pe suprafața incintei acustice se
9 găsește montat cel puțin un traductor sau difuzor, a cărui membrană operează ca un piston,
din perspectiva frecvențelor joase, producând variații de presiune în incinta acustică, iar în
11 funcție de complianța aerului din incintă și de inerția creată de porturi apare o frecvență de
rezonanță specifică, la care contribuția incintei acustice la nivelul total de ieșire atinge
13 maximul, vibrația aerului din porturi fiind în fază cu cea a membranei și aflându-se la cea mai
mare amplitudine, iar excursia membranei difuzorului fiind minimă la această frecvență.
15 Incintele acustice bass-reflex care pot beneficia, teoretic, de această invenție sunt atât cele
de bandă-largă, cât și cele specializate în reproducerea frecvențelor joase, denumite
17 subwoofer, de aceea, vom utiliza termenul generic de incintă acustică bass-reflex pe
parcursul expunerii. Inventția este, de asemenea, aplicabilă și în cazul altor tipuri de incinte
19 acustice având una sau mai multe frecvențe de rezonanță, precum incintele de tip radiator
pasiv sau cele de tip trece-bandă, însă incintele acustice bass-reflex sunt cele mai
21 răspândite, din multiple considerente, fapt pentru care vom orienta expunerea către acestea.

Analiza stadiului tehnicii în acest domeniu relevă existența, chiar și la ora actuală, a
23 acelorași convenții de proiectare a incintelor bass-reflex, instituite în urmă cu mai multe
decenii, acestea reprezentând, în continuare, clasicul compromis între puterea maximă
25 suportată și extensia răspunsului în frecvențe joase, cea de-a doua fiind sacrificată aproape
întotdeauna în favoarea maximizării puterii suportate și a obținerii unor niveluri de presiune
27 sonoră ridicate. Frecvența de tăiere a răspunsului în frecvențe joase a acestor proiecte
clasice, la care atenuarea este deja de 10 dB, este situată destul de sus, chiar și la 40 Hz,
29 ceea ce nu poate reprezenta nicidecum o reproducere fidelă, de calitate, a sunetului.

În mod ideal, o incintă bass-reflex de mare putere ar trebui să reproducă liniar
31 frecvențe de până la 20 Hz și să suporte puterea maximă posibilă, limitată doar de
caracteristicile termice ale bobinei difuzorului. În realitate, din păcate, o altă limitare intervine,
33 reprezentată de excursia întregului ansamblu membrană-bobină, denumită, în continuare,
excursia membranei, definită prin parametrul X_{max} al difuzorului. Acesta reprezintă
35 excursia maximă liniară a bobinei sau membranei, pornind din poziția de repaus, în oricare
sens, înainte ca numărul de spire ale bobinei, aflate în întrefier, să înceapă să scadă și poate
37 fi exprimat prin relația (1.0), pentru a clarifica situațiile în care, din considerente comerciale,
în fișele de catalog ale difuzoarelor moderne sunt publicate valori cu 40% mai mari decât
39 cele reale:

$$41 \quad X_{max} = \frac{\hat{În\grave{a}ltimea_bobinei} - \hat{În\grave{a}ltimea_piesei_polare}}{2} \quad (1.0)$$

43 Singura soluție ce a putut fi identificată drept cea mai apropiată de invenția
revendicată în acest brevet este reprezentată de **US 2014/0341394 A1**, similaritatea
45 constând în preocuparea în a găsi, fără a încălca în vreun fel legile fizicii, maniera prin care
frecvența de rezonanță a unei incinte acustice bass-reflex să poată fi scăzută precum în
47 cazul (30), suplinind deficiența din regiunea (30e) prin diverse tehnici de procesare a
semnalului și extinzând, astfel, gama de frecvențe joase reproduse de incintă. Ambele soluții,

respectiv invenția revendicată în acest brevet și **US 2014/0341394 A1**, vor presupune 1
atenuări ale regiunilor de frecvențe la care apare fenomenul de supra-excursie a membranei, 3
impuse de limitele electroacustice normale ale incintelor, respectiv deasupra frecvenței de 3
rezonanță (30e) și dedesubtul acesteia, (12) și (13), așadar nimic neconvențional până în 5
acest punct. 5

Diferența fundamentală constă, însă, în faptul că **US 2014/0341394 A1** face apel la 7
psiho-acustică, având ca scop principal crearea percepției reproducerii frecvențelor din sursa 7
de semnal audio, nu neapărat reproducerea fidelă a acestora, și realizează acest lucru prin 9
trei tehnici fundamentale de procesare a semnalului, aplicate asupra frecvențelor din sursa 9
de semnal care se situează în regiunile de supra-excursie a membranei, respectiv deasupra 11
sau dedesubtul frecvenței de rezonanță: 11

- prima constă în aplicarea de atenuări dinamice, în funcție de nivelul semnalului de 13
intrare, asupra frecvențelor problematice menționate, generatoare de supra-excursie, iar 13
nivelul atenuării este compensat printr-o creștere proporțională a nivelului semnalelor 15
generate în cadrul următoarelor două tehnici; 15

- a doua tehnică o însoțește pe prima și constă în generarea de frecvențe armonice 17
(multiplicarea frecvenței fundamentale, atenuată prin intermediul primei tehnici) într-o regiune 17
mult mai înaltă de frecvențe, în care excursia membranei este foarte scăzută, astfel încât să 19
creeze impresia reproducerii frecvenței fundamentale prin efectul psiho-acustic de percepție 19
a unei a treia frecvențe virtuale, egală cu diferența dintre două frecvențe reproduse în 21
realitate, fundamentala atenuată și cel puțin o armonică, diferența fiind egală, de fapt, tot cu 21
fundamentala; această tehnică include creșterea amplificării atât a armonicelor generate, cât 23
și a zonei din jurul frecvenței de rezonanță, amplificare aplicată în relație inversă cu 23
atenuarea din prima tehnică, pentru menținerea unui nivel constant de ieșire; 25

- cea de-a treia tehnică, prezentată drept o posibilă extensie a invenției din brevetul 25
respectiv, adăugată primelor două tehnici, se referă la faptul că toate frecvențele din sursa 27
de semnal care s-ar situa în regiunile de supra-excursie, deasupra sau dedesubtul frecvenței 27
de rezonanță, sunt transpuse forțat (de cele mai multe ori, într-o manieră nearmonică) în 29
zona frecvenței de rezonanță, printr-un Transpositional Gain Controller, pentru a crea 29
senzația de impact fizic, iar percepția tonului frecvenței inițiale, înainte de a fi transpusă, este 31
indusă prin cea de-a doua tehnică menționată anterior, de generare a frecvențelor armonice, 31
astfel încât să creeze impresia reproducerii tonalității frecvenței fundamentale inițiale. 31

În contrast cu **US 2014/0341394 A1**, invenția revendicată în acest brevet se bazează 33
pe reproducerea într-o manieră liniară pe toată plaja de niveluri de intrare a frecvențelor 35
joase, fără a aplica vreo corecție dinamică asupra anumitor benzi de frecvență, și nu are ca 35
fundament utilizarea generării de armonice (multiplicarea frecvenței fundamentale). 35

Caracteristica ei principală constă într-o funcționalitate care favorizează reproducerea 37
frecvențelor ultra-joase, punând, astfel, în valoare scăderea frecvenței de rezonanță, însă 39
acest aspect va fi detaliat în următoarele secțiuni. 39

Problema tehnică este reproducerea de frecvențe ultra-joase, indiferent de spectrul 41
de frecvențe al sursei de semnal audio. 41

Soluția la această problemă este o incintă acustică, având cel puțin un difuzor și cel 43
puțin o cameră de rezonanță cu o frecvență joasă de rezonanță la care excursia membranei 43
difuzorului este minimă, ce cuprinde un procesor digital de semnal în care sunt implementate 45
filtre parametrice pentru controlul supra-excursiei membranei, fenomen apărut după 45
scăderea frecvenței de rezonanță la aproximativ 30 Hz și pentru liniarizarea caracteristicii 47
de răspuns, un filtru trece-sus pentru controlul supra-excursiei normale a membranei sub 47
frecvența de rezonanță și un sintetizator de subarmonice, din al cărui semnal însumat cu

RO 134667 B1

1 semnalul original, se obține un nou semnal, extins cu o octavă inferioară, astfel încât este
asigurată în mod continuu, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal,
3 funcționarea incintei acustice în regiunea frecvenței de rezonanță, cu excursie redusă a
membranei difuzorului, punându-se, astfel, în valoare scăderea frecvenței de rezonanță a
5 incintei acustice și obținându-se un sunet de un nivel calitativ cu totul superior. Pe lângă
sintetizatorul de subarmonice, este utilizat și un filtru trece-jos, în vederea eliminării unor
7 posibile frecvențe nedorite generate de algoritmul sintetizatorului de subarmonice. Pot fi
conectate în cascadă mai multe sintetizatoare de subarmonice, însumând apoi ieșirea
9 fiecăruia dintre aceste sintetizatoare de subarmonice cu semnalul original, obținând un nou
semnal, extins cu un număr de octave inferioare egal cu numărul de sintetizatoare de
11 subarmonice conectate în cascadă.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1-7:

13 - fig. 1, problema clasică de supra-excursie a membranei sub frecvența de rezonanță;

- fig. 2, rezolvarea problemei de supra-excursie sub frecvența de rezonanță;

15 - fig. 3, apariția supra-excursiei membranei și deasupra frecvenței de rezonanță, prin
acordarea incintei acustice bass-reflex la frecvențe ultra-joase;

17 - fig. 4, exemplu de alegere optimă a unei frecvențe de rezonanță foarte joase,
conform principiului invenției;

19 - fig. 5, exemplul de liniarizare optimă, conform principiului invenției, a răspunsului
în frecvență al unui subwoofer bass-reflex acordat la o frecvență foarte joasă (**32R**) și un
21 exemplu comparativ de răspuns al aceluiași subwoofer în lipsa invenției (**45R**);

- fig. 6, excursiile membranei corespunzătoare exemplurilor (**32R**) și (**45R**) din fig. 5;

23 - fig. 7, ilustrarea blocurilor programului de implementat în DSP, conform invenției.

În fig. 1 este simbolizată variația excursiei membranei unui difuzor, în funcție de
25 frecvență, într-o incintă bass-reflex, și putem observa un prim impact al parametrului (**15**)
 X_{max} asupra funcționării incintelor bass-reflex, în condiții de mare putere. La frecvența de
27 rezonanță a incintei, excursia membranei prezintă un minimum (**11**), la fel și impedanța
bobinei, așadar la această frecvență nu există un risc de ordin mecanic, ci, mai degrabă,
29 unul termic, puterea disipată fiind maximă, iar răcirea deficitară, dar ceea ce ne interesează
în acest moment este aspectul mecanic al problemei, așadar în jurul frecvenței de rezonanță
31 nu întâmpinăm limitări din acest punct de vedere. Continuând analiza, prin aplicarea unui
semnal a cărui frecvență este mai mare decât aceea de rezonanță a incintei (**11**), putem
33 atinge un maximum al excursiei membranei (**14**), însă orice incintă proiectată conform
normelor uzuale va asigura încadrarea acestei valori în limita cursei maxime liniare (**15**),
35 așadar regimurile de funcționare (**11**) și (**14**) nu reprezintă un motiv de îngrijorare. Dacă, în
schimb, aplicăm un semnal a cărui frecvență este inferioară celei de rezonanță (**11**),
37 observăm, de această dată, o creștere exponențială a excursiei membranei, în regiunile (**12**)
și (**13**), pe măsură ce frecvența aplicată scade. Într-o primă etapă, pragul (**15**) va fi depășit,
39 distorsiunea va apărea gradual, putând deveni chiar supărătoare, însă, mult mai important,
dacă frecvența aplicată scade și mai mult, vor fi depășite limitele mecanice ale difuzorului
41 (**16**), parametru denumit X_{lim} , provocând deteriorări ireversibile bobinei, care se va lovi de
piesa polară, sau suspensiei. Aceasta se datorează scăderii impedanței acustice a incintei
43 și reprezintă un real risc de funcționare la putere mare a difuzorului în incinta respectivă, fapt
pentru care este obligatorie utilizarea unui filtru trece-sus, astfel încât să putem controla
45 excursia membranei și la frecvențe mai mici decât cea de rezonanță a incintei, rezultatul unui
astfel de filtru, din punct de vedere al excursiei membranei, fiind ilustrat în fig. 2, regiunea
47 de frecvențe (**21**). Tipul de filtru, frecvența de tăiere și ordinul acestuia, respectiv panta de

RO 134667 B1

atenuare, depind de parametrii fiecărei incinte, însă uzuale sunt filtrele de tip Butterworth sau Linkwitz-Riley de ordinul 4, pentru o atenuare de 24 dB/octavă, sau chiar de ordinul 8, corespunzător atenuării de 48 dB/octavă, așadar foarte abrupte, pentru a controla eficient excursia membranei sub frecvența de rezonanță, dar, în același timp, pentru a afecta cât mai puțin, prin atenuare, banda utilă redată de către incinta acustică. Din acest considerent, filtrele Butterworth sunt de preferat, oferind, pentru același ordin, o pantă mai abruptă decât a celor de tip Linkwitz-Riley, datorită atenuării la frecvența de tăiere, care la primul tip este de 3 dB, iar la cel de-al doilea de 6 dB, acesta din urmă fiind, de fapt, compus din două filtre Butterworth active, conectate în cascadă. Consecința utilizării unui filtru trece-sus constă, din păcate, în efectul evident de înrăutățire a răspunsului în frecvență al incintei pe intervalul de frecvență pe care acesta introduce atenuare, caracteristica de răspuns în frecvență a oricărei incinte bass-reflex fiind deja deficitară sub frecvența de rezonanță. Acesta este motivul pentru care limita inferioară a frecvențelor redade de către incintele bass-reflex este guvernată de frecvența acestora de rezonanță, așadar, teoretic, o astfel de incintă ar trebui acordată la o frecvență cât mai joasă cu putință, chiar și la 20 Hz, însă, după cum vom observa în cele ce urmează, o nouă provocare intervine, introducând noi limitări.

Fig. 3 ilustrează cinci exemple pentru aceeași incintă acustică bass-reflex, singura diferență constând în frecvența de rezonanță, care este scăzută progresiv de la (50) la (30). Filtrele trece-sus adecvate sunt implementate, în vederea asigurării, teoretic, a condițiilor necesare pentru funcționarea conformă în aplicații de mare putere, însă un mare dezavantaj intervine, de această dată: excursia membranei crește progresiv deasupra frecvențelor de rezonanță, după cum putem observa în (50e), (45e), (40e), (35e), respectiv (30e), pe măsură ce frecvența de rezonanță scade, așadar acest proces, denumit și "down-tuning", oferă avantajul aparent al obținerii unei incinte bass-reflex capabile să reproducă foarte bine frecvențe mai joase, însă noul fenomen de supra-excursie a membranei, apărut cel mai pronunțat în cazul (30e), deasupra frecvenței de rezonanță, transformă rezultatul doar în clasicul compromis amintit la început, al alegerii între presiunea sonoră și extensia în frecvențe joase. Abordarea convențională oferă o singură perspectivă de ieșire din această situație, înlocuirea difuzorului incintei acustice cu un model de ultra-performanță, având un X_{max} foarte mare, care să permită atât o frecvență de rezonanță foarte joasă, cât și o putere de intrare mare, ceea ce nu presupune absolut nimic inovativ, ci doar costisitor.

Vom face apel direct la caracteristicile reale ale unei majorități covârșitoare a produselor actuale, referindu-ne în special la domeniul audio profesional, dar fără a ne limita la acesta. Ca o precizare suplimentară, pentru a acoperi tot spectrul produselor prezente pe piață, există și o aparentă excepție de la problema tehnică pe care o analizăm, reprezentată de produsele extrem de performante, ale căror prețuri sunt, desigur, proporționale, dar acelea nu presupun decât componente care prezintă caracteristici excepționale, precum o cursă maximă liniară a membranei difuzorului enormă, chiar și de 20 mm (valoarea uzuală fiind de 7 mm), scopul acestei invenții constând în găsirea unei soluții inovative și accesibile, nu în creșterea performanței printr-o clasică mărire a costurilor de producție. Așadar:

1. Majoritatea incintelor bass-reflex sunt acordate prea sus, în jurul frecvenței de 45 Hz, ceea ce presupune automat sacrificarea reproducerii frecvențelor ultra-joase, mai mici de 40 Hz, în special a celor din jurul valorii de 30 Hz, iar, pentru un sunet cu adevărat calitativ, o incintă bass-reflex trebuie să aibă capacitatea de a reproduce liniar aceste frecvențe ultra-joase, fără atenuări ale caracteristicii de răspuns.

2. În cazul în care alegem o frecvență de rezonanță mai joasă, precum 30 Hz, astfel încât să asigurăm redarea frecvențelor ultra-joase, apare a doua problemă, a supra-excursiei membranei difuzorului deasupra frecvenței de rezonanță, ca în fig. 3, exemplul (30e), supra-

RO 134667 B1

1 excursie care, pentru o frecvență de rezonanță de 30 Hz este situată, în realitate, în jurul
unei frecvențe centrale de aproximativ 50 Hz, respectiv în intervalul 40-70 Hz, ceea ce duce
3 la diminuarea puterii maxime suportate de către incinta acustică și la scăderea nivelului
presiunii sonore generate.

5 3. Cel de-al treilea aspect constă în faptul că majoritatea materialelor muzicale conțin
frecvențe joase predominant în intervalul de frecvențe 40-70 Hz, așadar exact în regiunea
7 în care a apărut fenomenul de supra-excursie prezentat la punctul anterior, după scăderea
frecvenței de rezonanță ca în fig. 3, exemplul (30e). Acest aspect important transformă o
9 astfel de incintă acustică într-un evident compromis, în care banda de frecvențe
predominantă, cuprinsă în intervalul 40-70 Hz, este redată într-o manieră ineficientă, prin
11 excursii semnificative ale membranei difuzorului, similar unei incinte acustice în compresie,
contribuția incinte acustice bass-reflex la nivelul total de ieșire, prin intermediul porturilor,
13 nemanifestându-se decât în jurul frecvenței de rezonanță, în special între valoarea acesteia
și un interval de aproximativ 5 Hz deasupra ei. În concluzie, ne aflăm în situația în care am
15 scăzut frecvența de rezonanță a incinte acustice pentru a fi capabilă să redea și frecvențe
ultra-joase, însă nu mai putem beneficia de fenomenul de rezonanță al incinte tocmai în
17 regiunea în care se găsesc majoritatea frecvențelor joase din materialele audio uzuale,
așadar modificarea este aproape inutilă. Aceste frecvențe ultra-joase, chiar și de 25 Hz, nu
19 sunt prezente, în general, decât în producțiile muzicale moderne, dar nici în această
categorie nu sunt neapărat predominante, fapt pentru care o astfel de incintă acustică
21 acordată mai jos decât ar permite excursia maximă liniară a difuzorului, apărând fenomenul
de supra-excursie deasupra frecvenței de rezonanță, (30e), reprezintă o soluție incompletă
23 și un exemplu clasic al limitărilor întâlnite în proiectarea incintelor acustice bass-reflex și nu
numai.

25 Obiectivul principal al acestei invenții a constat în descoperirea unei modalități prin
care să fie pusă în valoare, în mod continuu, noua capacitate a incinte acustice de a
27 reproduce frecvențe ultra-joase, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal
audio, contra-balansând, astfel, dezavantajul scăderii eficienței incinte în intervalul situat
29 deasupra frecvenței de rezonanță (30e). Redarea frecvențelor ultra-joase, de la aproximativ
25 Hz până la 40 Hz, este specifică sistemelor de sonorizare de mari dimensiuni, utilizate
31 în concerte, și are un cu totul alt impact asupra audienței, unul pozitiv, desigur, de aceea, s-
au depus eforturi în vederea găsirii unei soluții în acest sens, astfel încât sunetul de concert
33 să devină accesibil și la scară redusă, utilizând incinte acustice obișnuite, incapabile, în mod
tradițional, de o asemenea performanță.

35 Aceasta se bazează, în primul rând, pe existența, înaintea amplificatorului de putere, a unui
Procesor Digital de Semnal, pe care îl vom denumi în continuare DSP, acronimul termenului
37 englezesc Digital Signal Processor, iar în implementarea întregului concept putem distinge:

39 - incinta acustică este acordată la o frecvență de rezonanță foarte joasă, care să-i
permită acesteia să redea, în condiții de mare putere și fără filtre de atenuare aplicate,
frecvențe cuprinse între aproximativ 40 Hz și 25 Hz, cu o toleranță de câțiva Hz la ambele
41 capete ale intervalului, fără a apărea fenomenul de supra-excursie a membranei în acest
interval;

43 - implementarea în DSP a filtrării necesare, în vederea menținerii sub control a
excursiei membranei în zonele problematice, deasupra și dedesubtul frecvenței de
45 rezonanță, și în liniarizarea curbei de răspuns a incinte acustice, dacă este cazul;

47 - implementarea unei funcții speciale, tot în DSP, care să pună în valoare frecvențele
ultra-joase pe care acum incinta acustică este capabilă să le redea, obținând, astfel, un
rezultat de excepție.

RO 134667 B1

Acordarea incintei acustice la o frecvență de rezonanță foarte joasă, conform invenției, este necesară pentru a-i permite acesteia să redea, în condiții de mare putere și fără filtre de atenuare aplicate, frecvențe cuprinse între aproximativ 40 Hz și 25 Hz, cu o toleranță de câțiva Hz la ambele capete ale intervalului, fără a apărea fenomenul de supra-excursie a membranei în acest interval. O frecvență de rezonanță orientativă care, de regulă, ar putea satisface acest criteriu este cea de 30 Hz, nelimitând invenția la această valoare exactă. Ea poate fi stabilită exact prin utilizarea unor programe de calculator specializate, care permit simularea tuturor aspectelor funcționării fiecărei incinte, cum ar fi excursia membranei în funcție de frecvența semnalului și de puterea aplicată, caracteristica de răspuns în frecvență etc, în funcție de parametrii Thiele-Small (T/S) ai fiecărui difuzor și de caracteristicile incintei în care acesta va funcționa. Ceea ce trebuie urmărit este ca excursia membranei să se încadreze în limita parametrului X_{max} al difuzorului pentru intervalul de frecvențe de interes, 40-25 Hz, precum în fig. 4 (2540). O frecvență de rezonanță foarte joasă poate fi obținută, în general, prin două metode clasice, nefiind limitată la acestea. Prima constă într-o secțiune transversală micșorată a portului, cu avantajul unei lungimi necesare a portului reduse, dar cu riscul crescut al apariției turbulenței la puteri mari, prin acest fenomen fiind afectată eficiența incintei acustice și ajungându-se, în situații extreme, chiar și la anularea rezonanței, ceea ce poate antrena distrugerea mecanică a difuzorului. Această metodă ar trebui, așadar, evitată.

Cea de-a doua metodă, recomandabilă, reprezintă situația opusă, în care avem porturi mai lungi, dar cu o arie a secțiunii transversale adecvată, având avantajul unor viteze, mai degrabă, reduse ale aerului prin porturi. În cazul în care, pentru această metodă, lungimea necesară a porturilor depășește dimensiunile incintei acustice, se poate proceda, fără probleme, la curbarea traiectoriei porturilor la 90 de grade sau corespunzător conturului incintei. Dincolo de cele două metode teoretice, care au doar un rol orientativ, stabilirea, în realitate, a raportului optim dintre dimensiunile porturilor se realizează tot prin intermediul simulării computerizate, în funcție de frecvența de rezonanță stabilită anterior, de volumul incintei și de puterea maximă aplicată difuzorului, urmărind ca viteza maximă a aerului prin porturi, la frecvența de rezonanță, să nu depășească 5% din viteza sunetului, respectiv 17 m/s. Este, de asemenea, recomandată evitarea porturilor similare unor prisme triunghiulare sau de orice altă formă care implică unghiuri ascuțite, acestea favorizând apariția turbulențelor. Forma geometrică optimă a porturilor, care oferă cea mai mică suprafață laterală raportată la aria bazei și, implicit, cele mai reduse fricțiuni, este aceea de cilindru. Muchiile rotunjite la extremitățile porturilor pot ajuta, de asemenea, la diminuarea micilor zgomote nedorite. Toate aceste precizări de ordin practic au fost considerate necesare datorită faptului că, într-un volum uzual de incintă acustică, obținerea unei frecvențe foarte joase de rezonanță este realizabilă, dar implică o atenție sporită.

Implementarea în DSP, conform invenției, a filtrării și a limitării necesare, în vederea menținerii sub control a excursiei membranei și a liniarizării curbei de răspuns a incintei acustice presupune abordarea din patru perspective: controlul excursiei membranei sub frecvența de rezonanță fig. 4 (10) printr-un filtru trece-sus, apoi aplicarea unui filtru parametric prin care să fie ponderată supra-excursia membranei apărută deasupra frecvenței de rezonanță (9), după aceea, dacă este cazul, aplicarea altor filtre pentru liniarizarea caracteristicii de răspuns în frecvență a incintei, iar la final aplicarea unui limitator al vârfurilor de amplitudine. După liniarizarea răspunsului, dacă este necesar, se reajustează primele două filtre, în cazul în care au apărut supra-excursii ale membranei. Toate filtrele pot fi simulate cu ajutorul acelorași programe de calculator, amintite anterior, care permit vizualizarea efectului filtrelor asupra tuturor parametrilor de funcționare ai incintei acustice -

RO 134667 B1

1 excursia membranei, caracteristica de răspuns în frecvență cu afișarea directă a nivelului
2 presiunii sonore obținute pentru o anumită putere etc. Merită precizat faptul că, în realitate,
3 noțiunea de putere aplicată asupra unui difuzor este relativă, impedanța bobinei difuzorului
4 variind în funcție de frecvență. Singura mărime electrică relevantă este aceea a tensiunii
5 alternative aplicate bobinei, fiind utilă, în principal, în simularea valorii de vârf a excursiei
6 membranei. Este important să urmărim valoarea de vârf a excursiei deoarece aceasta se
7 întâmplă fizic și trebuie să se încadreze în parametrul X_{max} , iar limitatorul de vârfuri ale
8 amplitudinii semnalului este extrem de util în acest sens, permițând calibrarea valorilor
9 tranzitorii maxime de tensiune de la ieșirea amplificatorului de putere. Pentru facilitarea
10 aplicării invenției, vom indica și categoriile de filtre care pot fi utilizate, de regulă, în această
11 etapă, dar fără a limita invenția la acestea. Pentru filtrul trece-sus care să controleze excursia
12 membranei sub frecvența de rezonanță, indicat este cel de ordinul 4 (24 dB/octavă) de tip
13 Butterworth, iar o valoare a frecvenței de tăiere (-3 dB) de la care putem începe simularea
14 ar fi cea la care începe supra-excursia (**10**) din fig. 4.

15 Un exemplu de excursie conformă a membranei după aplicarea unui astfel de filtru
16 poate fi consultat în fig. 2 (**21**). Pentru controlul fenomenului de supra-excursie prezent
17 deasupra frecvenței de rezonanță, precum în fig. 4 (**9**), există două posibilități: fie aplicăm
18 un filtru trece-jos de tip Butterworth de ordinul 4, de exemplu, al cărui punct de tăiere poate
19 fi setat la frecvența la care supra-excursia atinge maximum, soluție valabilă în cazul
20 subwooferelor, deși, chiar și pentru acestea, se pot pierde frecvențe importante, situate mai
21 sus, fie apelăm la un filtru parametric sau egalizator parametric, util atât pentru subwoofere
22 cât și pentru incintele de bandă-largă, a cărui frecvență centrală să fie reglată la frecvența
23 la care apare maximum supra-excursiei, câștigul să fie negativ, respectiv o atenuare de câțiva
24 decibeli, iar factorul de calitate Q să aibă o valoare de pornire de 2. Acestea sunt valorile
25 orientative de la care putem începe simulările, însă comportamentul exact al fiecărei incinte
26 trebuie observat și optimizat în fiecare caz. În privința liniarizării caracteristicii de răspuns,
27 cel mai adesea va apărea o atenuare naturală a răspunsului către frecvența de rezonanță,
28 aceasta fiind foarte joasă, iar volumul incintei, de cele mai multe ori, insuficient pentru un
29 răspuns liniar, de aceea poate fi necesar încă un filtru parametric a cărui frecvență centrală
30 să fie situată la frecvența de rezonanță a incintei, iar câștigul și factorul de calitate alese în
31 funcție de comportamentul incintei. Trebuie, totuși, avut în vedere faptul că fiecare creștere
32 de 3 dB a câștigului acestui filtru înseamnă o dublare a puterii solicitate de la amplificator și
33 un potențial risc termic asupra bobinei difuzorului, impedanța fiind minimă la frecvența de
34 rezonanță a incintei acustice. Din nou, principalul mijloc de stabilire corectă a parametrilor
35 filtrelor este simularea computerizată. În fig. 5 (**32R**), este prezentat un exemplu de liniarizare
36 optimă a răspunsului unui subwoofer acordat, conform principiului invenției, la o frecvență
37 32 Hz, simbolizând, comparativ, și răspunsul acestuia pentru o frecvență clasică de
38 rezonanță de 45 Hz (**45R**).

39 Corecțiile utilizate pentru obținerea caracteristicii (**32R**) au presupus valori moderate
40 ale atenuărilor și amplificărilor, respectiv +3 dB la 32 Hz cu factorul de calitate 3, -3,5 dB la
41 49 Hz cu factorul de calitate 2 și un filtru trece-sus Butterworth de ordinul 4 setat la 27 Hz.
42 În cazul clasic (**45R**), răspunsul este aproape cel natural al incintei, neavând implementat
43 decât un filtru trece-sus Butterworth de ordinul 4 setat la 35 Hz, iar ambele exemplificări,
44 (**32R**) și (**45R**), includ și un filtru Linkwitz-Riley de ordinul 4 stabilit la 100 Hz, aflându-ne în
45 cazul unor aplicații de incintă acustică dedicată reproducerii frecvențelor joase (**45R**), res-
46 pectiv cu extensie în frecvențe ultra-joase (**32R**). Există o diferență de 4 dB a nivelului maxim
47 obținut între cazurile (**32R**) și (**45R**), normală, însă avantajul evident al aplicației (**32R**) constă

RO 134667 B1

în capabilitatea de a reproduce frecvențele ultra-joase la niveluri semnificativ mai mari, astfel
că, la 30 Hz, aplicația (**32R**) furnizează 116 dB, având doar 4 dB atenuare față de nivelul său
maxim de 120 dB, în timp ce (**45R**) oferă doar 104 dB, cu 20 dB mai puțin decât nivelul său
maxim, așadar liniaritatea caracteristicii (**32R**) și extensia în frecvențe joase sunt net
superioare celor din cazul (**45R**).

În fig. 6 sunt ilustrate și excursiile membranei, (**32e**) și (**45e**), pentru aceleași două
exemple comparative, (**32R**), respectiv (**45R**), putând observa rezultatul aplicării principiilor
primelor două etape ale invenției în cazul (**32e**), respectiv excursia redusă a membranei
difuzorului în intervalul frecvențelor ultra-joase 25-40 Hz și încadrarea excursiei în excursia
maximă liniară a difuzorului, X_{max} (15).

Realizarea primelor două etape ale invenției nu prezintă un nivel ridicat al dificultății,
făcând apel la noțiuni elementare de electroacustică și la o experiență de nivel mediu în
proiectarea unor astfel de incinte, însă prima etapă reprezintă, în sine, o abordare
neconvențională a proiectării incintelor acustice bass-reflex prin poziționarea acestora, prin
natura invenției, într-un regim de funcționare în care rareori le vom întâlni în lipsa unui difuzor
de mare performanță, iar ambele etape sunt o parte integrantă a invenției, reprezentând
fundamentul fizic care permite aplicarea celei de-a treia etape a invenției, pe care o vom
dezvălui în cele ce urmează. Elementul-cheie, care explică principiul de bază precizat în
secțiunile precedente, constând în faptul că incintei acustice i se furnizează, întotdeauna,
întregul spectru de frecvențe joase, cu accent pe gama de frecvențe ultra-joase cuprinse
între 40 Hz și 25 Hz, în mod independent de materialul muzical, obținând astfel performanța
maximă a incintei acustice și o experiență sonoră absolut superioară, atât în cazul
producțiilor muzicale moderne cât și în cazul celor mai vechi, constă în implementarea unui
sintetizator de subarmonice în DSP. Acesta se bazează pe generarea unui nou semnal prin
divizarea (înjumătățirea) frecvenței fundamentalei, nu prin multiplicarea acesteia, precum în
cazul armonicilor. Astfel, conținutul muzical este întotdeauna extins până la frecvențele
ultra-joase dintre 40 Hz și 25 Hz sau chiar 20 Hz, obținând rezultate uimitoare.

Dacă nu am implementa sintetizatorul de subarmonice, tot principiul de acordare a
incintei la o frecvență de rezonanță foarte joasă și filtrarea creată în DSP, prezentate în
primele două etape ale invenției, se pot transforma doar într-un proiect de incintă acustică
de fidelitate mai mare, care poate reproduce foarte bine frecvențele ultra-joase, însă, cel mai
adesea, materialul muzical nu conține frecvențe situate sub 40 Hz, așadar acest lucru ar
transforma întregul concept doar într-un clasic proiect de compromis. Într-un astfel de caz,
s-ar renunța la un nivel mai ridicat de ieșire, din pricina fenomenului de supra-excursie apărut
deasupra frecvenței de rezonanță, pentru o mai bună calitate a sunetului, profitând de acea
extensie superbă a răspunsului către frecvențe ultra-joase doar în cazul unui număr limitat
de piese muzicale moderne, care conțin cu adevărat frecvențe de până la 30 Hz sau chiar
25 Hz. Implementând sintetizatorul de subarmonice în DSP precum în fig. 7, conform
invenției, orice materiale muzicale, în special producțiile mai vechi, conținând frecvențe în
intervalul 40-80 Hz, sunt transpuse cu o octavă mai jos de către sintetizatorul de
subarmonice (**86**), obținând un nou semnal subarmonic în intervalul 20-40 Hz care, prin
algoritmul creat în DSP pentru invenție, va fi însumat, considerând blocul opțional (**85**) ca
fiind inexistent și înlocuit cu o conexiune directă, cu semnalul original (**84**), obținând un
semnal cu spectru complet (**87**), în intervalul 20-80 Hz. În fig. 7, sintetizatorul de subar-
monice (**86**) poate fi însoțit, conform invenției, și de un filtru trece-jos (**85**), util în eliminarea
unor posibile frecvențe nedorite, generate de algoritmul sintetizatorului de subarmonice (**86**).
În cazul în care o sursă de semnal, precum muzica modernă, conține deja frecvențe situate

RO 134667 B1

1 sub 40 Hz, acestea vor trece nemodificate de sintetizator, însă armonicile lor, prezente de
cele mai multe ori, vor declanșa, cu siguranță, sintetizatorul de subarmonice, ducând la
3 sporirea frecvențelor ultra-joase. Astfel, întregul potențial al incintei acustice proiectate prin
această invenție este fructificat întotdeauna la maximum său potențial, indiferent de spectrul
5 de frecvențe al sursei audio, iar sunetul obținut este absolut superior, în comparație cu forma
convențională a aceleiași incinte acustice.

7 Fig. 7 conține toate blocurile principale ce trebuie implementate în DSP (90), conform
invenției, și putem remarca și o ilustrare a întregului concept al invenției. Incinta acustică (1)
9 este re acordată (5) la o frecvență foarte joasă prin prelungirea portului (3) cu un nou
segment (4), controlul excursiei pentru noua frecvență de rezonanță este asigurat prin
11 secțiunea (7), compusă dintr-un egalizator parametric multiplu (83), dintr-un filtru trece-sus
(82) și limitatorul de vârfuri ale amplitudinii (81), controlul temperaturii bobinei difuzorului (2)
13 este asigurat printr-un limitator de tip RMS (80), care se deosebește de limitatorul de valori
de vârf (81) doar prin timpii de atac și de eliberare mult mai lungi, astfel încât acesta nu
15 afectează valorile tranzitorii, blocul de generare a subarmonicelor (8) a fost deja prezentat,
iar (6) reprezintă amplificatorul de putere.

17 O posibilă extensie a invenției, cu privire la implementarea sintetizatorului de
subarmonice, ar consta în înlănțuirea în cascadă a două sau mai multe sintetizatoare de
19 subarmonice, însumând, apoi, ieșirea fiecărui sintetizator de subarmonice cu semnalul
original. Astfel, un program audio care conține frecvențe joase în intervalul 80-160 Hz va fi,
21 de asemenea, transpus în intervalele de frecvențe subarmonice corespunzătoare 40-80 Hz
și 20-40 Hz, obținând, prin însumarea semnalelor, un semnal de joasă frecvență cu spectru
23 complet în intervalul de frecvențe 20-160 Hz.

În concluzie, conceptul de generare a subarmonicelor nu este nou, fiind brevetat în
25 1978 prin **US 4182930 A**, însă integrarea sa în lanțul de semnal, mai ales direct într-un
model de incintă acustică activă echipată cu DSP, astfel încât să fie asigurat în mod continuu
27 un semnal cu spectru complet de frecvențe, de până la 20 Hz, pentru orice gen muzical,
împreună cu toate principiile enunțate mai sus (acordarea incintei la o frecvență de
29 rezonanță foarte joasă, împreună cu tehnicile asociate de filtrare activă, integrate în DSP),
formează conceptul-nucleu al acestei invenții. Astfel, este oferită o soluție la cheie, drept
31 răspuns la dorința supremă a mediului audio profesional de a avea o incintă acustică în
măsură să ofere o extensie a răspunsului până la frecvențele ultra-joase, împreună cu
33 funcționalitatea de a rezolva automat problemele ce țin de spectrul frecvențelor joase ale
sursei audio (frecvențe lipsă, situație în care tehnicile clasice de aplicare a egalizatoarelor
35 care să amplifice anumite frecvențe nu funcționează), obținând, astfel, un sunet puternic de
joasă frecvență perfect echilibrat, independent de genul muzical.

37 Avantajele acestei invenții sunt evidente și au fost exprimate în tot cuprinsul
descrierii: obținerea unui sunet de un nivel calitativ cu totul superior, pornind de la incinte
39 acustice de performanță medie care, în lipsa invenției, nu sunt capabile să redea frecvențe
ultra-joase, iar în cazul în care ar fi re acordate la o frecvență foarte joasă, nu ar reprezenta
41 decât o compromitere a nivelului acustic maxim pentru a putea reda, în rare ocazii, frecvențe
ultra-joase, pe care, din păcate, majoritatea producțiilor muzicale, în special cele din trecut,
43 oricum nu le conțin. Invenția, în schimb, a fost deja aplicată, în scop experimental, asupra
unei incinte acustice profesionale, echipată cu DSP și amplificator, iar rezultatul este uimitor
45 și lipsit de echivalență, la ora actuală, în rândul produselor accesibile și nu numai, absolut
orice material audio fiind redat în mod automat cu acele frecvențe ultra-joase, atât de
47 apreciate în special în domeniul audio profesional. În lipsa invenției, chiar dacă ar fi acordată

RO 134667 B1

la o frecvență foarte joasă, o incintă acustică este dependentă de spectrul de frecvențe al sursei audio și chiar de reglajele efectuate de către utilizator, care poate aplica, de pildă, o corecție formată dintr-un filtru parametric prin care amplifică exact o frecvență centrală situată în punctul în care apare supra-excursia membranei, deasupra frecvenței de rezonanță, precum în fig. 3 (30e). Într-o asemenea situație, difuzorul nu este ajutat absolut deloc de incinta acustică, aflându-se la o frecvență mult superioară celei de rezonanță, și se poate ajunge, în lipsa existenței unor limitări de protecție, inclusiv la distrugerea mecanică a difuzorului. Prin această invenție, în schimb, orice frecvență din intervalul problematic (30e), în care poate apărea supra-excursie și care, să presupunem, este cuprins între 40 Hz și 70 Hz, este dublat imediat, în mod automat, de către sintetizatorul de subarmonice (86) cu un nou semnal situat într-un interval cu frecvență înjumătățită, 20-35 Hz, în care nu poate apărea supra-excursie, cu excepția frecvențelor extrem de joase, către 20 Hz, care sunt oricum atenuate prin filtrul trece-sus (fundamentală de 40 Hz, corespunzătoare frecvenței subarmonice de 20 Hz reprezintă abia începutul intervalului (SE) de supra-excursie fig. 3 și poate fi redată ea însăși fără dificultăți). Așadar, orice creștere a nivelului în intervalul (30e) problematic de frecvențe este acompaniată automat de creșterea proporțională a amplitudinii subarmonicelor corespunzătoare, iar profilul spectrului de frecvențe, stabilit prin implementarea filtrării, este întotdeauna asigurat, incinta acustică având întotdeauna disponibilă și o frecvență foarte joasă, pe care o poate reda fără probleme la putere maximă.

Principala utilizare a invenției este reprezentată de cea mai utilă implementare a acesteia, direct în cadrul incintelor acustice active, echipate cu amplificare internă și un DSP programabil, însă poate fi extinsă și la aplicații multi-modulare, cum ar fi seturile formate dintr-o incintă acustică și un modul dedicat de procesare și amplificare sau chiar la configurațiile tradiționale, compuse dintr-o incintă acustică modificată conform invenției, un amplificator extern și un procesor digital de semnal universal cu funcție de generare de subarmonice integrată, configurat conform invenției. De asemenea, invenția este aplicabilă, teoretic, atât în cazul incintelor acustice de bandă-largă, cât și al subwooferelor, însă acestea din urmă, în special cele din categoria profesională, oferă, cel mai adesea, condițiile optime pentru implementarea invenției.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...7.

Exemplu

În realizarea invenției este esențială posibilitatea simulării computerizate a funcționării unei incinte acustice, orice persoană de specialitate în domeniu fiind, în mod normal, familiarizată cu această activitate. În vederea programării DSP-ului, toată informația relevantă, din perspectiva invenției, este disponibilă în fig. 7, ilustrând toate blocurile importante și tot parcursul recomandat al semnalului, așadar o persoană de specialitate în domeniu nu ar trebui să întâmpine dificultăți nici din acest punct de vedere.

Aplicarea industrială face apel la etapele standardizate de proiectare și la procesele de fabricație deja existente, singura diferență apărând doar în abordările neconvenționale pe care invenția le sugerează, principale fiind acordarea incintei la o frecvență mult mai joasă decât ar permite X_{max} , în vederea creării posibilității de a reda frecvențele ultra-joase, controlul excursiei membranei și implementarea sintetizatorului de subarmonice în DSP, însoțit de un filtru trece-jos opțional, pentru limitarea frecvenței maxime a subarmonicelor. Realizarea efectivă și transpunerea în producția de serie sunt cunoscute oricărui producător din acest domeniu.

RO 134667 B1

Revendicări

1

3

1. Incintă acustică, având un difuzor și o cameră (1) de rezonanță cu o frecvență joasă de rezonanță la care excursia membranei difuzorului (2) este minimă, de tip incintă acustică bass-reflex, un amplificator și un procesor digital de semnal, **caracterizată prin aceea că**, în procesorul digital de semnal sunt implementate filtre (83) parametrice pentru controlul supra-excursiei membranei (9), fenomen apărut după scăderea frecvenței de rezonanță la aproximativ 30 Hz și pentru liniarizarea caracteristicii de răspuns, un filtru trece-sus (82) pentru controlul supra-excursiei normale a membranei sub frecvența de rezonanță (10) și un sintetizator de subarmonice (86), din al cărui semnal (88) însumat cu semnalul original (84), se obține un nou semnal (87), extins cu o octavă inferioară, astfel încât este asigurată în mod continuu, indiferent de spectrul de frecvențe al sursei de semnal (84), funcționarea incintei acustice în regiunea frecvenței de rezonanță (2540), cu excursie redusă a membranei difuzorului (2), punându-se, astfel, în valoare scăderea frecvenței de rezonanță a incintei acustice și obținându-se un sunet de un nivel calitativ cu totul superior.

5

7

9

11

13

15

17

2. Incintă acustică, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, pe lângă sintetizatorul de subarmonice (86), este utilizat și un filtru trece-jos (85), în vederea eliminării unor posibile frecvențe nedorite generate de algoritmul sintetizatorului de subarmonice (86).

19

21

23

3. Incintă acustică, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că**, sunt conectate în cascadă mai multe sintetizatoare de subarmonice (86), însumând apoi ieșirea fiecăruia dintre aceste sintetizatoare de subarmonice cu semnalul original (84), obținând un nou semnal, extins cu un număr de octave inferioare egal cu numărul de sintetizatoare de subarmonice conectate în cascadă.

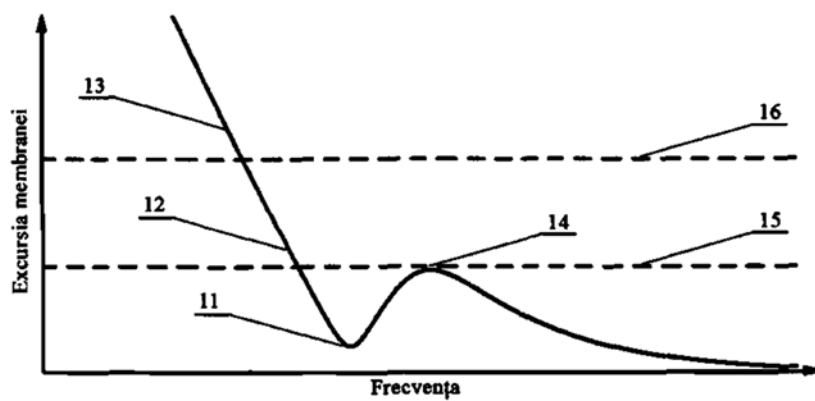


Fig. 1

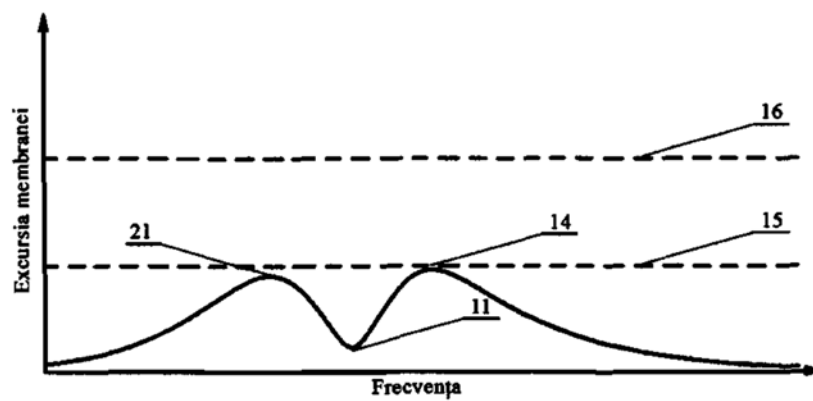


Fig. 2

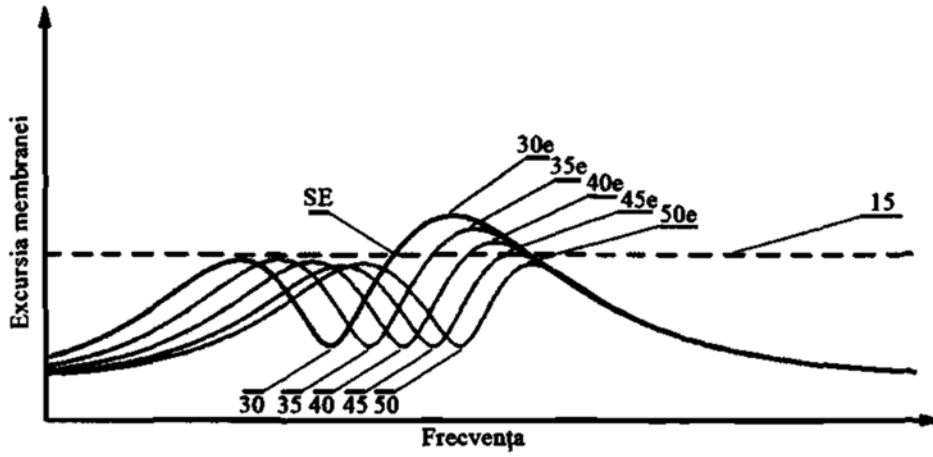


Fig. 3

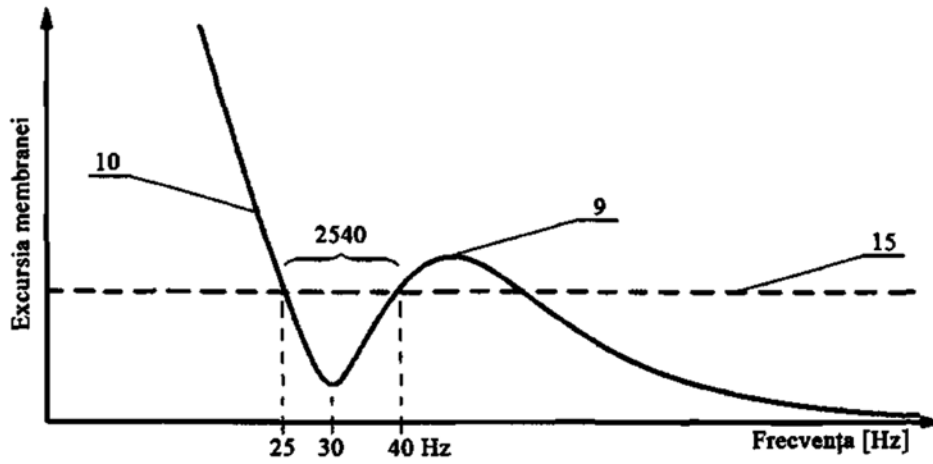


Fig. 4

(51) Int.Cl.

H03G 5/16 (2006.01);

H04R 3/04 (2006.01)

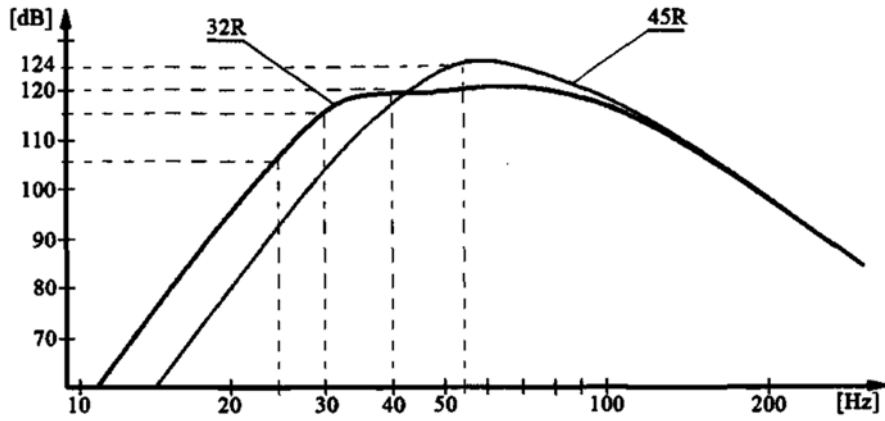


Fig. 5

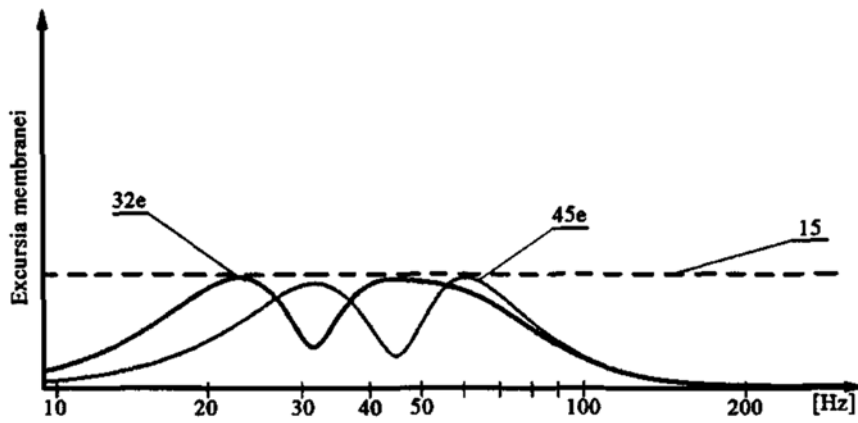


Fig. 6

(51) Int.Cl.

H03G 5/16 (2006.01);

H04R 3/04 (2006.01)

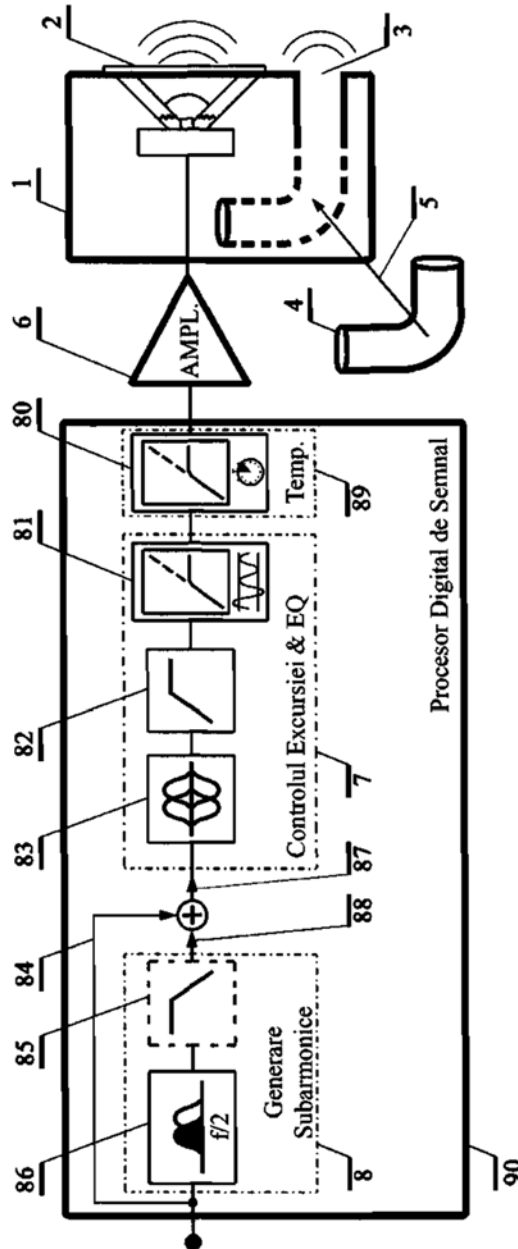


Fig. 7

